

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

# СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для магистрантов специальности  
1-36 80 02 «Инновационные технологии в машиностроении»  
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 621.791.7  
ББК 30.61  
С38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «20» февраля 2020 г., протокол № 8

Составитель канд. техн. наук, доц. А. Н. Сеница

Рецензент М. Н. Миронова

Даны методические рекомендации к практическим занятиям по дисциплине «Системы управления качеством в сварочном производстве» для магистрантов специальности 1-36 80 02 «Инновационные технологии в машиностроении».

Учебно-методическое издание

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная вёрстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 21 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2020



## Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Оценка уровня качества сварного соединения .....	4
2 Лабораторная работа № 2. Разработка контрольных карт управления качеством изготовления сварной конструкции .....	17
3 Лабораторная работа № 3. Разработка схемы акустико-эмиссионного контроля сварной конструкции .....	23
4 Лабораторная работа № 4. Определение режимов компьютерной радиографии сварной конструкции .....	29
5 Лабораторная работа № 5. Определение химического состава основного и наплавленного металла экспресс-методом .....	35
Список литературы .....	43
Приложение А. Пример технологической карты: объект – сосуд давления .....	44



# 1 Лабораторная работа № 1. Оценка уровня качества сварного соединения

**Цель работы:** приобретение практических навыков при отбраковке сварных соединений по результатам неразрушающего контроля.

## **Применяемое оборудование:**

- набор для визуального и измерительного контроля ВИК-2;
- образцы сварных соединений;
- негатоскоп НЕОН;
- рентгеновские плёнки РТ-1.

### **1.1 Классификация видов технического контроля**

В зависимости от требований к сварным соединениям и категории их ответственности устанавливается определённая система организации контроля качества продукции на предприятии. В основу этой системы положена классификация видов технического контроля по отдельным признакам.

1 По стадиям технологического процесса контроль разделяют на: входной (предварительный); операционный (текущий); окончательный (готовой продукции).

К входному контролю предъявляют основной металл и сварочные материалы (присадочную проволоку, флюсы, газы, электроды), полуфабрикаты и комплектующие. Под термином «предварительный контроль» понимают не только проверку материала, но и работоспособности сварочного оборудования и квалификации исполнителей работ.

Операционному контролю подвергают технологические процессы по отдельным операциям маршрутной технологии после её завершения или во время исполнения.

2 По объёму контролируемой продукции: сплошной; выборочный. Сплошной контроль выполняют для ответственных сварных конструкций; выборочный – при контроле изделий крупносерийного и массового производства.

3 По месту проведения контроля: стационарный; подвижный (скользящий). Стационарный контроль производится на специальном оборудованном контрольном пункте или в специальном помещении (например, рентгеновский контроль выполняют в изолированных боксах). Подвижный контроль производится непосредственно на рабочем месте (например, ультразвуковой контроль).

4 По характеру контроля: инспекционный; летучий. Под инспекционным контролем понимают выборочный контроль продукции специальными лицами (инспекторами) для дополнительной проверки качества проконтролированной продукции.

Летучий контроль выполняется с произвольной периодичностью, носит инспекционный характер и осуществляется работниками ОТК. При этом контролируется соблюдение технологических процессов (контроль технологиче-



ской дисциплины), например, последовательность выполнения швов, соблюдение правил хранения и условий транспортировки изделий на соответствие требованиям технической документации.

При проверке соблюдения технологического процесса особое внимание уделяется рациональной организации рабочих мест, которая предполагает наличие необходимой технологической документации, оснастки и контрольно-измерительных приборов и инструмента и их состояния, соблюдение правил и норм техники безопасности, состояние рабочего места и соответствие его требованиям технологической документации. Такую проверку часто называют контролем производственной дисциплины.

5 По цели контроля: приёмочный; статистический. Приёмочный контроль проводится с целью отделения годной продукции от брака. Статистический контроль используется в крупносерийном и массовом производстве в системе управления качеством продукции. Статистический контроль является средством профилактического воздействия на ход технологического процесса с целью его корректировки и исключения появления брака.

6 По возможности использования проконтролированной продукции: разрушающий; неразрушающий. Разрушающий контроль применяют для получения контролируемых количественных показателей продукции. В некоторых случаях контроль проводят с частичным нарушением целостности материала изделия, т. е. путем испытаний без разрушения изделия. Неразрушающий контроль не оказывает влияния на целостность продукции и косвенно характеризует ее качество.

7 По средствам контроля и получения информации: визуальный; инструментальный. Визуальному контролю подвергают 100 % изделий. Инструментальный контроль является более совершенным, т. к. осуществляется с помощью разнообразных технических средств контроля. Технические средства контроля можно разделить на следующие группы.

## ***1.2 Технические средства контроля***

Технические средства контроля можно разделить на следующие группы.

1 По характеру измерения контролируемого параметра: контрольно-измерительные инструменты и приборы; контрольно-сортирующие устройства.

Контрольно-измерительные средства являются основными средствами контроля. Контрольно-сортирующие средства предназначены для сортировки объектов контроля по двум группам: годен, негоден; либо по нескольким группам, исходя, например, из геометрических размеров.

2 По степени воздействия на ход технологического процесса: средства пассивного контроля; средства активного контроля. Средства пассивного контроля относятся к обычным контрольно-измерительным средствам, фиксирующим полученный результат, или контрольно-сортирующим устройствам. Средства активного контроля встраиваются в технологическое оборудование и используются для непосредственного управления технологическими процессами. При

достижении предельных значений контролируемых параметров эти устройства автоматически управляют режимом работы оборудования, обеспечивают заданную точность и обладают значительно большей эффективностью предупреждения брака.

3 По степени автоматизации: ручные; механизированные; автоматические. Средства ручного контроля используют там, где применение механизированных автоматических контрольных устройств затруднено или практически невозможно. Эффективность автоматических контролирующих устройств обусловлена возможностью получения документа или протоколирования результатов контроля. При использовании механизированных средств контроля протоколирование результатов контроля осуществляет контролёр.

### *1.3 Технический контроль в сварочном производстве*

Технический контроль разделяют на входной, операционный и приёмочный. К входному контролю относят контроль основных и сварочных материалов и полуфабрикатов, предназначенных для использования при изготовлении изделий, а также предварительный контроль сварочного оборудования и квалификации сварщиков. Входной контроль основных и сварочных материалов имеет целью не допустить использования некачественной продукции поставщика, поступившей к изготовителю сварных изделий.

Целью предварительного контроля является оценка работоспособности сварочного оборудования и допуск производственного персонала к выполнению сварочных работ.

Система операционного контроля предусматривает контроль технологического процесса и продукции во время выполнения или после завершения технологической операции. Контроль технологического процесса сварки включает контроль подготовки свариваемых деталей, их сборки под сварку, непосредственно процесса сварки и полученных сварных соединений.

Приёмочный контроль сварных изделий включает внешний осмотр изделия и определение его размеров, а также испытания (неразрушающие для всех изделий и разрушающие для определённого объёма выборки). При приёмочном контроле проверяется соответствие изготовленной продукции требованиям НТД (нормативно-технической документацией) и принимается решение о её пригодности к использованию.

Таким образом, учитывая особые требования к изготовлению сварных изделий, организация технического контроля в сварочном производстве должна быть направлена не только на приёмочный контроль продукции, но и на контроль всех стадий производственного процесса её изготовления, а также всех факторов, влияющих на качество продукции.



## 1.4 Контроль основных материалов

На первом этапе основной материал проверяют на наличие сертификата, заводской маркировки и товарного знака изготовителя.

В сертификате указываются марка и химический состав, номер плавки, масса и номер партии, результаты всех испытаний, соответствующих стандарту на материал, номер стандарта, тип профиля и размеры.

После контроля сертификата металл подвергают внешнему осмотру с целью выявления поверхностных дефектов, искажения формы и др.

В случае отсутствия дефектов металл сортируют по типоразмерам и маркируют. Под типоразмером металла понимают металл конкретного типа (формы) и исполнения с определёнными значениями контролируемых параметров, например, лист определённой толщины. Маркировку металла выполняют ударным способом (клеймом), электрогравировкой и нанесением краской марки металла, например, вдоль продольной кромки листа. Материал хранится в закрытых помещениях в устойчивых штабелях или на стеллажах.

Основной материал принимают партиями, и если он не соответствует требованиям технической документации, то составляется акт-рекламация (претензия) предприятию-изготовителю материала.

Проверенный металл подвергают пробной сварке, после которой проводят механические или технологические испытания, анализ химического состава и металлографический анализ сварного шва.

В основном металле могут быть дефекты, связанные с отливкой слитка и вызванные его последующей обработкой давлением.

К дефектам слитка относят: горячие и холодные трещины; газовую пористость и усадочные раковины; неметаллические включения и оксидные плёнки и др.

Дефекты литья при последующей обработке слитков давлением приводят к образованию расслоений, волосовин, раскрытию трещин при горячей деформации и другим дефектам.

Под расслоениями понимают цепочку неметаллических частиц после прокатки.

Волосовины – мелкие трещины, образовавшиеся из газовых пузырей или неметаллических включений при обработке давлением.

При обработке давлением качественного металла могут образоваться дефекты, связанные только с технологией обработки металла давлением. К таким дефектам относят: закаты (складки); вмятины; риски; ковочные трещины и др.

Под закатом понимают вдавленные в поверхность металла заусенцы, вышшения, бугорки.

Вмятины образуются на поверхности в виде местных углублений, вызываемых попаданием посторонних частиц на поверхность металла или валков.

Риски – дефекты в виде канавок на поверхности заготовок при прокатке.

Грубые дефекты выявляются визуально, а более мелкие – методами дефектоскопии.





Не выявленные и не устраненные дефекты в основном металле могут привести к их раскрытию при сварке и появлению новых дефектов в сварном шве на их основе.

В соответствии с общей квалификацией дефекты в основном металле являются металлургическими дефектами, т. к. они возникают при литье и обработке давлением, относящихся к металлургическим процессам.

### *1.5 Контроль качества сварочных материалов*

Контроль качества сварочных материалов, так же как и основного материала, включает:

- проверку наличия сертификата;
- проверку сохранности упаковки и наличия на ней этикеток;
- внешний осмотр;
- пробную сварку с испытанием полученных сварных соединений (проверка технологических свойств сварочных материалов).

К сварочным материалам относят электроды, присадочную проволоку, флюс и защитные газы.

Электроды принимают партиями. Они упакованы в пачки, которые имеют этикетку с указанием марки, стандарта, завода-изготовителя.

Контроль внешнего вида осуществляют выборочным путём определённого количества электродов из пачки.

При этом контролируют наличие на поверхности рисок, трещин, сколов покрытия, пор. На каждый из дефектов устанавливаются нормы бракования. Затем проверяют прочность покрытия путём изгиба электрода и падения его на стальную плиту с высоты  $((0,5 + 1) \text{ м})$ .

Проверяют покрытия на влагостойкость после пребывания в воде в течение суток. Контролируют разнотолщинность покрытия по длине электрода.

При проведении пробной сварки оценивают: лёгкость зажигания дуги; стабильность горения дуги; степень разбрызгивания металла; равномерность плавления покрытия: отделимость шлака и т. д.

После сварки сварные соединения разрушают и осматривают изломы, проводят механические испытания, химические и металлографические исследования.

После проверки электроды хранятся в герметичных контейнерах в сухих помещениях. При длительном хранении электроды перед сваркой просушивают.

Сварочную проволоку поставляют в бухтах, катушках или кассетах. Проволока снабжена металлическими бирками, в которых указаны стандарт, марка и завод-изготовитель. Каждая партия имеет сертификат.

При поступлении проволоки производят её очистку от противокоррозионных смазок и окислов. Очистку от смазок окислов и красок выполняют механическими или химическими способами. После очистки проволока наматывается на кассеты. При намотке осуществляют контроль за поверхностными дефектами.

В некоторых случаях проводят химический анализ проволоки и затем осуществляют пробную сварку с анализом химического состава и механических





свойств наплавленного металла. При сварке обращают внимание на свойства дуги, шлака, характер плавления.

Проволока должна храниться на складах в условиях, исключающих ржавление и загрязнение поверхности. С целью исключения образования ржавчины используют специальную омеднённую проволоку.

Порошковую проволоку при длительном хранении обязательно следует прокалить и проверять механические и технологические свойства при сварке образцов.

Сварочный флюс упаковывают в герметичные мешки, которые проверяют на наличие этикеток. В этикетках указаны марка, стандарт и завод-изготовитель.

Сварочный флюс контролируют на размер зерна путём просеивания через сито с ячейками, соответствующими верхнему и нижнему пределам размеров зёрен. Затем флюс проверяют на содержание влаги. Влажность не должна превышать 0,1 %.

Пробу массой 100 г просушивают при температуре 300 °С и взвешивают через определенные интервалы времени. Просушивание прекращают, когда результаты взвешивания становятся одинаковыми. Количество влаги определяется по разности между первым и последним взвешиванием.

Флюс используют одновременно с проволокой при пробной сварке. При выполнении сварки оценивают устойчивость горения дуги, а после сварки отделимость шлаковой корки при небольшом простукивании шва резиновым молотком.

В необходимых случаях контролируют механические свойства и химический состав наплавленного металла.

Флюс более чувствителен к влаге, чем электрод, поэтому он должен храниться в герметичных ёмкостях и перед сваркой обязательно подвергаться просушиванию.

Защитный газ поставляют в баллонах, снабжённых этикетками, в которых указаны марка, химсостав, завод-изготовитель. Газ по этикеткам проверяют на наличие примесей и контролируют на присутствие влаги путём подачи струи на фильтровальную бумагу. При наличии влаги газ пропускают через осушитель.

На принятые сварочные материалы работниками ОТК составляется приёмочный акт; на некачественные материалы – рекламационный акт, направляемый изготовителю.

### ***1.6 Общие сведения о сварочных дефектах***

Под дефектом понимают каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Дефекты в сварных соединениях по происхождению можно разделить на металлургические и технологические.

Металлургические дефекты возникают при изготовлении отливок и дальнейшей их прокатке или прессовании.

К технологическим дефектам относят дефекты, полученные при механиче-



ской и термической обработке материалов, а также формообразовании свариваемых элементов методами гибки, штамповки и т. д.

К технологическим дефектам относятся также и сварочные дефекты, которые классифицируют на дефекты подготовки, сборки и самого процесса сварки.

Дефекты в сварных соединениях можно разделить на три группы:

- 1) дефекты – сплошности сварного шва или сварных точек (на их долю приходится примерно 50 % всех дефектов);
- 2) дефекты – искажения формы и отклонения геометрических размеров сварного шва или сварных точек (примерно 25 % всех дефектов);
- 3) дефекты – несоответствия химического состава и структуры металла сварного шва или зоны термического влияния.

Дефекты – несплошности сварки плавлением классифицируются по следующим признакам:

- по возможности выявления: явные; скрытые;
- по возможности устранения: исправимые; неисправимые;
- по протяжённости: одиночные (отдельные); непротяжённые (расположены компактно); протяжённые (вытянутые в линию);
- по форме: плоскостные (трещины, непровары); объёмные (поры, включения);
- по месту расположения: наружные (поверхностные); внутренние (подповерхностные и глубинные); сквозные.

Явные дефекты выявляют внешним осмотром, а скрытые – методами неразрушающего контроля.

Дефекты типа сквозных трещин и прожогов являются, как правило, неисправимыми и изделия с такими дефектами подлежат бракованию, т. е. доработка их не допускается.

Примером одиночных дефектов является отдельная пора или включение. К компактно расположенным дефектам относят группу из нескольких пор, расстояние между которыми не более двух – трёх их диаметров. Примером протяжённых дефектов является цепочка пор, образующаяся, например, при дуговой сварке алюминиевых сплавов и располагающаяся вдоль линии сплавления.

Плоскостные дефекты являются самыми опасными дефектами в связи с концентрацией напряжения в их зоне.

Дефекты могут располагаться и в различных зонах сварного соединения, т. е. в шве по границе сплавления или в околошовной зоне.

Приведенная классификация дефектов позволяет оптимизировать выбор методов неразрушающего контроля.

При оценке качества продукции по её дефектности необходимо нормировать характеристики допустимых дефектов. Эти характеристики классифицируют на абсолютные, относительные и статистические.

К абсолютным характеристикам относят линейные размеры дефектов (длина, высота, глубина), их количество в сварном шве и расстояние между ними (для единичных дефектов). Для компактно расположенных дефектов определяют площадь дефектного участка, а для протяжённых – их суммарную длину.



Относительные характеристики дефектности используют для сравнительной оценки различных технологических решений, например, при выборе метода и режимов обработки.

К относительным характеристикам относят такие величины, как отношение линейных размеров дефектов, или суммарную их длину, или число дефектов к единичной длине или толщине сварного шва.

Под единичной длиной сварного шва понимают или его 1 п. м, или 100 мм (для коротких швов).

Относительной характеристикой является также площадь дефектного участка, отнесённая к площади поперечного сечения шва для компактно расположенных дефектов.

К статистическим показателям дефектности относят, например, суммарную длину дефектов по длине шва, отнесённую к общему числу дефектов. Статистические показатели используют при анализе большого числа сварных соединений (100...1000) в крупносерийном и массовом производстве.

### 1.7 Нормы допустимых дефектов

Нормы допустимых дефектов устанавливают в нормативно-технической документации. Например, в соответствии с ГОСТ 23118–2012 в зависимости от конструктивного оформления, условий эксплуатации и степени ответственности швы сварных соединений подразделяют на категории I, II, III, которые определяют высокий, средний и низкий уровни качества (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики категорий и уровней качества швов сварных соединений в соответствии с ГОСТ 23118–2012

Категория и уровни качества швов сварных соединений	Тип швов соединений и характеристика условий их эксплуатации
I – высокий	1 Поперечные стыковые швы, воспринимающие растягивающие напряжения $\sigma_p \geq 0,85R_y$ (в растянутых поясах и стенках балок, элементах ферм и т. п.) 2 Швы тавровых, угловых, нахлесточных соединений, работающие на отрыв, при растягивающих напряжениях, действующих на прикрепляемый элемент, $\sigma_p \geq 0,85 R_y$ и при напряжениях среза в швах $\tau_{yш} > 0,85R_{wf}$ 3 Швы в конструкциях или в их элементах, относящихся к 1-й группе по классификации действующих нормативных документов, а также в конструкциях 2-й группы в климатических районах строительства с расчётной температурой ниже минус 45 °С (кроме случаев, отнесённых к типам 7–12) 4 Поперечные стыковые швы, воспринимающие растягивающие напряжения $0,4R_y \leq \sigma_p < 0,85R_y$ , а также работающие на отрыв швы тавровых, угловых, нахлесточных соединений при растягивающих напряжениях, действующих на прикрепляемый элемент, $\sigma_p < 0,85R_y$ и при напряжениях среза в швах $\tau_{yш} \geq 0,85R_{wf}$ (кроме случаев, отнесённых к типу 3)



## Окончание таблицы 1

Категория и уровни качества швов сварных соединений	Тип швов соединений и характеристика условий их эксплуатации
II – средний	5 Расчетные угловые швы, воспринимающие напряжения среза $\tau_{yш} > 0,75R_{wf}$ , которые соединяют основные элементы конструкций 2-й и 3-й групп (кроме случаев, отнесённых к типам 2 и 3) 6 Продольные стыковые швы, воспринимающие напряжения растяжения или сдвига $0,4 R < \sigma < 0,85R$
III – низкий	7 Продольные (связующие) угловые швы в основных элементах конструкций 2-й и 3-й групп, воспринимающие растягивающие напряжения (поясные швы элементов составного сечения, швы в растянутых элементах ферм и т. д.) 8 Стыковые и угловые швы, прикрепляющие к растянутым зонам основных элементов конструкций узловые фасонки, фасонки связей, упоры и т. п. 9 Поперечные стыковые швы, воспринимающие сжимающие напряжения 10 Продольные стыковые швы и связующие угловые швы в сжатых элементах конструкций 11 Стыковые и угловые швы, прикрепляющие фасонки к сжатым элементам конструкций 12 Стыковые и угловые швы во вспомогательных элементах конструкций (конструкции 4-й группы)
<p><i>Примечание</i> – <math>\sigma_p</math> – растягивающее напряжение металла шва; <math>R_y</math> – расчётное сопротивление стали растяжению, сжатию и изгибу по пределу текучести; <math>\tau_{yш}</math> – касательное напряжение металла углового шва; <math>R_{wf}</math> – расчётное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва; <math>\sigma</math> – напряжение металла шва; <math>R</math> – расчётное сопротивление металла шва</p>	

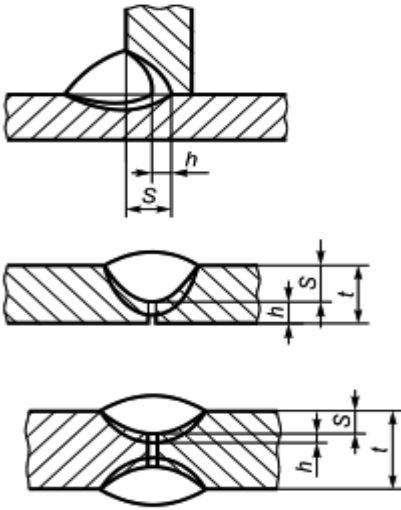
Для каждого дефекта в зависимости от уровня качества указываются нормы допустимости. Примеры норм допустимости представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Допустимые дефекты швов сварных соединений в соответствии с ГОСТ 23118–2012

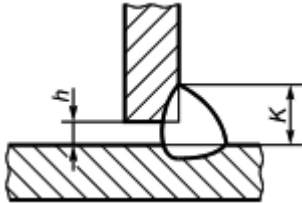
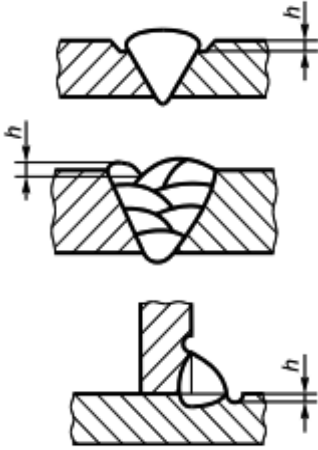
Наименование дефектов	Характеристика дефектов по расположению, форме и размерам	Допустимые дефекты по уровням качества		
		высокий	средний	низкий
1 Трещины	Трещины всех видов, размеров и ориентации	Не допускаются		
2 Поры и пористость	Максимальная суммарная площадь пор от площади проекции шва на оценочном участке. Максимальный размер одиночной поры: стыковой шов угловой шов но не более	1 %  $d < 0,2S$ $d < 0,2K$ 3 мм	2 %  $d < 0,25S$ $d < 0,25K$ 4 мм	4 %  $d < 0,3S$ $d < 0,3K$ 5 мм



## Продолжение таблицы 2

Наименование дефектов	Характеристика дефектов по расположению, форме и размерам	Допустимые дефекты по уровням качества		
		высокий	средний	низкий
3 Скопление пор	Максимальная суммарная площадь пор от площади дефектного участка шва**. Максимальный размер одиночной поры: стыковой шов угловой шов но не более Расстояние между скоплениями	4 %  $d < 0,2S$ $d < 0,2K$ 2 мм $L \geq 12t$	8 %  $d < 0,25S$ $d < 0,25K$ 3 мм $L \geq 12t$	16 %  $d < 0,3S$ $d < 0,3K$ 4 мм $L \geq 12t$
4 Газовые полости и свищи	Длинные дефекты Короткие дефекты: стыковой шов угловой шов Максимальный размер газовой полости или свища, мм	Не допускаются		
5 Шлаковые включения	Длинные дефекты Короткие дефекты: стыковой шов угловой шов Максимальный размер включения, мм	Не допускаются		
6 Включения меди, вольфрама и другого металла	Инородные металлические включения	Не допускаются		
7 Непровары и несплавления	Длинные дефекты Короткие непровары: стыковой шов угловой шов	Не допускаются		
	Несплавления	Не допускаются		
8 Непровар (неполное проплавление)		Не допускаются	Длинные дефекты не допускаются Короткие дефекты $H \leq 0,1S$ Макс. 1,5 мм $h \leq 0,2S$ Макс. 2 мм	

## Окончание таблицы 2

Наименование дефектов	Характеристика дефектов по расположению, форме и размерам	Допустимые дефекты по уровням качества		
		высокий	средний	низкий
9 Неудовлетворительный зазор в тавровом соединении	<p>Чрезмерный или недостаточный зазор между деталями</p>  <p>Превышение зазора в некоторых случаях может быть компенсировано увеличением катета шва</p>	$h < 0,5 \text{ мм}$ $+ 0,1 K$ Макс. 2 мм	$h < 0,5 \text{ мм}$ $+ 0,15 K$ Макс. 3 мм	$h < 1 \text{ мм} + 0,2 K$ Макс. 4 мм
10 Подрезы	<p>Переход от шва к основному металлу должен быть плавный. Очертания подрезов должны быть плавные</p> 	$h < 0,5 \text{ мм}$	$h < 1,0 \text{ мм}$	$h < 1,5 \text{ мм}$

### 1.8 Требования к уровню достоверности результатов измерений

Для правильного снятия результатов и уменьшения погрешности измерений необходимо соблюдать следующие правила.

1 Все измерения должны проводиться за короткий промежуток времени для уменьшения погрешности, обусловленной различными факторами.

2 Прежде чем приступить к измерениям, необходимо определить цену деления прибора:

$$C = \frac{A_1 - A_{n-1}}{N},$$

где  $A_n$  и  $A_{n-1}$  – два ближайших оцифрованных значения;



$N$  – число делений.

3 После определения цены прибора измеряемую величину можно найти умножением цены деления на число делений, на которое отклонилась стрелка прибора.

4 Измеренные результаты должны быть записаны с учётом абсолютной или относительной погрешности измерений. Погрешности измерений указываются на измерительном приборе.

Амперметры и вольтметры подразделяются на восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Цифра, означающая класс точности, определяет наибольшую положительную или отрицательную основную приведенную погрешность, которую имеет данный прибор.

Под основной приведенной погрешностью прибора понимают отношение абсолютной погрешности  $\Delta A$  к номинальной величине прибора  $A_{ном}$  (пределу измерения данного прибора), выраженной в процентах:

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta A}{A_{ном}} \cdot 100\% .$$

Например, прибор класса точности 0,5 имеет  $\gamma_{пр} = \pm 0,5\%$  .

Абсолютная погрешность измерения

$$\Delta A = \frac{\gamma_{пр} \cdot A_{ном}}{100\%} .$$

Абсолютную погрешность округляют до одной значащей цифры.

### ***Порядок выполнения работы***

1 Получить у преподавателя контролируемый образец с указанием уровня качества и типа шва в соответствии с таблицей 1.

2 Проанализировать требования к параметрам детали, подлежащим контролю.

3 Составить перечень контролируемых параметров и дефектов сварного шва. Выполнить визуальный контроль и измерения сварного соединения.

4 Произвести анализ результатов контроля. Сравнить результаты визуального и измерительного контроля с допустимыми значениями, указанными в таблице 3, и дать заключение о годности контролируемого образца.

5 Получить у преподавателя радиографические плёнки с изображением сварных соединений и указанием уровня качества и типа шва в соответствии с таблицей 1.

6 Выполнить анализ радиограмм. Сравнить результаты анализа с допустимыми значениями, указанными в таблице 3, и дать заключение о годности контролируемого соединения.





- 7 Сделать выводы о проделанной работе.
- 8 Оформить отчёт о работе.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Классификация методов контроля.
- 2 Разрушающие методы контроля.
- 3 Неразрушающие методы контроля.
- 4 Внутренние дефекты и методы контроля, используемые для их выявления.
- 5 Наружные дефекты и методы контроля, используемые для их выявления.
- 6 Что такое дефект сварного соединения?
- 7 Какие могут быть причины образования дефектов в сварных соединениях?
- 8 На какие группы классифицированы дефекты?
- 9 Какими методами контроля выявляются микротрещины?
- 10 На каких участках зоны сварного соединения может располагаться продольная трещина?
- 11 Какие виды дефектов являются наиболее опасными для эксплуатации?
- 12 Назовите основные отличия между скоплением пор, цепочками пор и пористостью.
- 13 Укажите причину образования кратера в сварном шве.
- 14 В чем причина образования шлаковых включений в сварных соединениях?
- 15 Что такое подрез? Назовите причины его образования.
- 16 Перечислите уровни качества швов сварных соединений в соответствии с ГОСТ 23118–2012.
- 17 Типы швов соединений и характеристика условий их эксплуатации для высокого уровня качества швов сварных соединений в соответствии с требованиями ГОСТ 23118–2012.
- 18 Типы швов соединений и характеристика условий их эксплуатации для среднего уровня качества швов сварных соединений в соответствии с требованиями ГОСТ 23118–2012.
- 19 Типы швов соединений и характеристика условий их эксплуатации для низкого уровня качества швов сварных соединений в соответствии с требованиями ГОСТ 23118–2012.

### ***Содержание отчёта***

- 1 Название темы и цели работы.
- 2 Выполненное задание.
- 3 Ответы на контрольные вопросы.
- 4 Предложенные способы устранения выявленных дефектов.
- 5 Выводы о проделанной работе.

## 2 Лабораторная работа № 2. Разработка контрольных карт управления качеством изготовления сварной конструкции

**Цель работы:** изучение методов статистического регулирования качества сварочных работ.

### Применяемое оборудование:

- ЭВМ;
- программный комплекс MathCAD.

### 1.1 Контрольные карты

Методы статистического регулирования качества сварочных работ используются для анализа технологического процесса. При этом коррекция технологического процесса выполняется в ходе производства с помощью выборочного или сплошного контроля сварных соединений.

Для статистического регулирования используется контрольная карта, позволяющая наглядно отразить ход процесса на диаграмме и выявить нарушения технологии. Существуют различные типы контрольных карт, однако все они обладают рядом общих особенностей и анализируются одинаково.

Контрольная карта представляет собой доверительный интервал оценки данного показателя, который определяется уровнем значимости с соответствующими коэффициентами среднего квадратического отклонения. Обычно бывает нетрудно обнаружить характер изменения диаграммы. Однако большое количество параметров, влияющих на это изменение, усложняет выяснение причины ухудшения качества сварного шва.

Построение диаграммы может производиться по результатам внешнего осмотра соединения, рентгенографии, ультразвукового контроля сварных соединений и т. д. При этом весь сварной шов соединения предполагают разбитым на равные участки, которые принимают за элементы и выражают в единицах длины или принимают равными длине одного рентгеновского снимка.

Чаще всего применяют три типа контрольных карт:  $P$ ,  $C$  и  $U$ , которые соответственно обозначают:

$P$  – относительную частоту дефектных (забракованных по результатам контроля) участков в сварном узле;

$C$  – количество дефектов или дефектных элементов в сварном стыке, узле;

$U$  – количество дефектных элементов в сварном стыке, узле, отнесенное к обоему количеству элементов сварного узла, принимаемому за выборку.

Каждый из этих типов карт имеет свои преимущества и недостатки. Общим условием применения карт служит независимость появления второго дефектного элемента от первого.

**Контрольная карта  $P$ .** При ведении контрольной карты  $P$  проконтролированные участки классифицируются на годные и дефектные (забракованные). Эта карта наглядна для всех участвующих в производстве, поз-



воляет следить за ходом технологического процесса и своевременно выявлять рост брака.

В сварочном производстве данную карту можно применить при контроле сварных стыков и узлов как массового, так и единичного характера. При этом длина рентгеновского снимка соответствует единичному участку сварного шва. Число участков в одном сварном узле будет определять объем выборки.

При построении диаграммы контрольной карты  $P$  по оси ординат откладывают значения частот появления дефектного участка:

$$P = \frac{m}{n},$$

где  $m$  – количество дефектных участков в выборке;

$n$  – количество участков в выборке.

Границу регулирования определяют по формуле

$$P_{\text{вз}} = \bar{P} + K \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}},$$

где  $P_{\text{вз}}$  – верхняя граница регулирования;

$\bar{P}$  – относительная частота дефектных участков в выборках (средняя выборочная) за предыдущий период;

$K$  – критерий значимости, при  $K = 3$  составляет 0,99.

**Контрольная карта  $C$ .** Качество сварных швов можно анализировать как по накопленным данным (карта  $P$ ), так и по данным текущего производства с помощью контрольных карт с использованием  $D$  или  $I$ .

На контрольной карте  $C$  регистрируют количество дефектов, обнаруженных в определённой, заранее установленной единице сварного узла или в однотипных участках сварного шва, соответствующих одной выборке. Объёмы выборок  $a$  должны быть равными ( $n_1 = n_2 = \dots = n_l$ ). Границы регулирования карт основываются на параметре  $C$  распределения Пуассона. Эту границу определяют из формулы

$$P_{\text{вз}} = C + K\sqrt{C}.$$

Поскольку параметр  $C$  обычно неизвестен, следует его получить путём предварительного анализа. Для этого применяют в качестве несмещённой оценки средний уровень качества за предыдущий период:

$$\bar{C} = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^l C_i.$$



Подставляя  $\bar{C}$  вместо  $C$ , получаем

$$P_{\text{вз}} = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^l \bar{C}_i + K \sqrt{\frac{1}{a} \sum_{i=1}^l \bar{C}_i}.$$

При построении контрольной карты по оси абсцисс откладывают номер единицы выборки  $m$  по порядку отбора, а по оси ординат – число дефектов  $C$  в единице сварного узла или отдельном, сварном шве, принимаемом за выборку.

**Контрольная карта  $U$ .** Карту  $U$  используют в том случае, если имеется  $a$  выборок, которые состоят в совокупности из  $n_1 + n_2 + \dots + n_i$  единиц элементов. За элемент принимается условный участок шва постоянной длины, равный 0,1 или 0,3 м. Для всей партии объем выборки может быть переменным. Количество элементов в выборке определяется по формуле

$$n = \frac{L}{0,1},$$

где  $L$  – длина швов в сварном узле, принимаемом за выборку  $l$ .

Текущее значение  $U$  для каждой выборки составляет:

$$U = \frac{m}{n},$$

где  $m$  – количество дефектных элементов в сварном соединении, узле;

$n$  – количество всех элементов в сварном соединении, узле.

За выборку обычно принимается единичный сварной узел, который устанавливается для конкретного метода контроля.

Объем контроля может быть как сплошным, так и выборочным. Средний уровень качества  $U$  определяется по формуле

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^l m}{\sum_{i=1}^l n},$$

где  $\sum_{i=1}^l m$  – общее количество дефектных элементов в сварных узлах данной партии;

$\sum_{i=1}^l n$  – общее количество элементов в сварных узлах данной партии.

Границу регулирования определяют по формуле

$$P_U = \bar{U} + K \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}},$$

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^l n}{a},$$

где  $\bar{n}$  – среднее количество элементов, приходящееся на один сварной узел (выборку) для данной партии;

$a$  – количество сварных узлов в партии.

Контрольные границы устанавливаются жёстко или с допуском, в зависимости от нормативных требований к качеству сварных швов. В большинстве случаев коэффициент среднего квадратического отклонения  $K$  принимается равным 3. Принятие тех или иных контрольных границ, зависящих от выбранного значения  $K$ , отражает возможность появления ошибки при принятии решения.

### ***Порядок выполнения работы***

- 1 Получить у преподавателя задание на составление контрольных карт в соответствии с нижеприведёнными исходными данными.
- 2 Сделать выводы о проделанной работе.
- 3 Оформить отчёт о работе.

#### **Задание 1**

Рассчитать средний уровень и наибольшее допустимое отклонение от среднего уровня числа дефектов на один участок сварного шва (длина 300 мм) при газовой сварке стыков трубопроводов диаметром 57...108 мм (таблица 3).

Количество дефектов – 2,2 шт./уч.

Определить значение верхней границы регулирования (ВГР) и верхней предупредительной границы регулирования (ВПГ), или предупредительные границы регулирования (ПГР), и построить предупредительные контрольные карты (ПКК).

#### **Задание 2**

Рассчитать среднюю протяженность дефектов, мм, и наибольшее допустимое отклонение от средней протяженности на участке сварного шва (длина 300 мм) при электродуговой сварке стыков трубопроводов диаметром 219...325 мм (таблица 4). Определить значения ВГР, ПГР и построить ПКК для показателей  $l_0$  и  $l_6$ .

#### **Задание 3**

Рассчитать средний уровень и наибольшее допустимое отклонение от среднего уровня забракованных участков контроля по показателю Б при газовой сварке стыков диаметром 57...108 мм за годовой цикл (таблица 5).

Определить значения ВГР, ПГР и построить ПКК.



Таблица 3 – Выборочные значения дефектов  $D_0$  и  $D_6$ 

Номер вы-борки	$n$ , шт.	$\Sigma D_0$ , шт.	$\Sigma D_6$ , шт.	$D_0$ , шт./уч.	$D_6$ , шт./уч.	Номер выбор-ки	$n$ , шт.	$\Sigma D_0$ , шт.	$\Sigma D_6$ , шт.	$D_0$ , шт./уч.	$D_6$ , шт./уч.
1	88	235	29	2,67	0,33	13	102	176	12	1,72	0,12
2	100	148	6	1,48	0,06	14	92	171	14	1,86	0,15
3	92	174	14	1,89	0,15	15	83	215	16	2,59	0,19
4	43	78	19	1,81	0,44	16	76	143	10	1,88	0,13
5	82	233	30	2,84	0,36	17	108	197	19	1,82	0,17
6	104	179	13	1,72	0,12	18	96	230	32	2,40	0,33
7	82	199	26	2,42	0,31	19	92	203	16	2,20	0,17
8	98	272	44	2,77	0,45	20	102	264	43	2,63	0,42
9	93	178	14	1,91	0,15	21	91	218	30	2,39	0,33
10	73	135	5	1,84	0,07	22	94	230	29	2,45	0,31
11	95	206	15	2,17	0,16	23	82	217	18	2,63	0,21
12	113	202	20	1,78	0,17	24	91	218	21	2,40	0,23

Таблица 4 – Выборочные значения протяжённости дефектов  $l_0$  и  $l_6$ 

Номер выборки	$n$ , шт.	$\Sigma l_0$ , шт.	$\Sigma l_6$ , шт.	$l_0$ , шт./уч.	$l_6$ , шт./уч.	Номер выборки	$n$ , шт.	$\Sigma l_0$ , шт.	$\Sigma l_6$ , шт.	$l_0$ , шт./уч.	$l_6$ , шт./уч.
1	22	152	95	6,9	4,3	10	141	3917	2298	27,8	16,3
2	135	1722	599	12,7	4,4	11	78	1702	688	21,4	8,8
3	129	1650	304	12,7	2,4	12	236	3631	1099	15,4	4,7
4	169	2697	1448	15,9	8,6	13	222	3736	2475	16,8	11,1
5	144	436	77	3	0,5	14	347	3457	1028	10	3
6	161	638	270	4	1,7	15	165	2724	10	16,5	0,1
7	105	907	40	8,6	0,4	16	257	2074	174	8,1	0,7
8	206	1324	280	6,4	1,4	17	368	7593	1281	20,7	3,5
9	109	1610	250	14,7	2,3	18	142	2903	455	20,4	3,2



Таблица 5 – Выборочные значения доли брака в процентах за год

Номер выборки	$n$ , шт.	$m$ , шт.	$\bar{B}$ , %	Номер выборки	$n$ , шт.	$m$ , шт.	$\bar{B}$ , %
1	95	15	15,7	13	86	6	6,9
2	90	14	15,5	14	87	5	5,7
3	94	14	14,9	15	87	5	5,7
4	94	14	14,9	16	104	3	2,9
5	86	9	10,5	17	105	3	2,9
6	86	9	10,5	18	110	11	10
7	97	7	7,1	19	73	4	5,5
8	98	7	7,1	20	74	4	5,4
9	86	5	5,8	21	122	11	9
10	86	5	5,8	22	80	19	23,8
11	86	5	5,8	23	72	3	23,8
12	86	6	6,9	24	72	3	4,2

### **Контрольные вопросы**

- 1 Перечислите необходимые меры подготовки сварочного производства к управлению качеством сварки.
- 2 Что такое исходный уровень качества и как он определяется?
- 3 Что такое производственный уровень качества и как он определяется?
- 4 Дайте объяснение случайному и систематическому отклонениям.
- 5 Дайте определение контрольной карты. Какие бывают типы контрольной карты?
- 6 Что такое среднее квадратическое отклонение?
- 7 Как определяют верхнюю (ВГР) и нижнюю (НГР) границы регулирования для контрольных карт?
- 8 Как определяют среднюю арифметическую величину  $\bar{X}$  базовой совокупности стыков?
- 9 Как определяют среднюю арифметическую величину  $\bar{x}$  в выборке стыков?

### **Содержание отчёта**

- 1 Название темы и цели работы.
- 2 Выполненное задание.
- 3 Ответы на контрольные вопросы.
- 4 Выводы о проделанной работе.



### 3 Лабораторная работа № 3. Разработка схемы акустико-эмиссионного контроля сварной конструкции

**Цель работы:** приобретение практических навыков разработки схемы акустико-эмиссионного контроля сварной конструкции.

**Применяемое оборудование:** ресивер объёмом 0,7 м<sup>3</sup>.

#### 1.1 Общие сведения об акустико-эмиссионном контроле

Акустико-эмиссионный (АЭ) метод – метод контроля (испытаний), основанный на анализе параметров упругих волн, излучаемых при развитии дефектов в исследуемом объекте под действием нагрузки.

Большое значение для получения данных контроля, отражающих реальное состояния объекта во время АЭ-испытания, играют правильно выбранные параметры настроек АЭ-системы.

АЭ-сигнал несёт информацию о состоянии объекта контроля. Вследствие многомодальности распространения, отражения, трансформации волн различных типов в твердом теле, затухания высокочастотных составляющих и резонансных свойств приёмной аппаратуры, сигналы АЭ, регистрируемые на выходе датчика, имеют вид радиоимпульса с затухающей по экспоненте амплитудой колебаний.

На рисунке 1 приведены схемы применения АЭ-систем на объектах контроля.

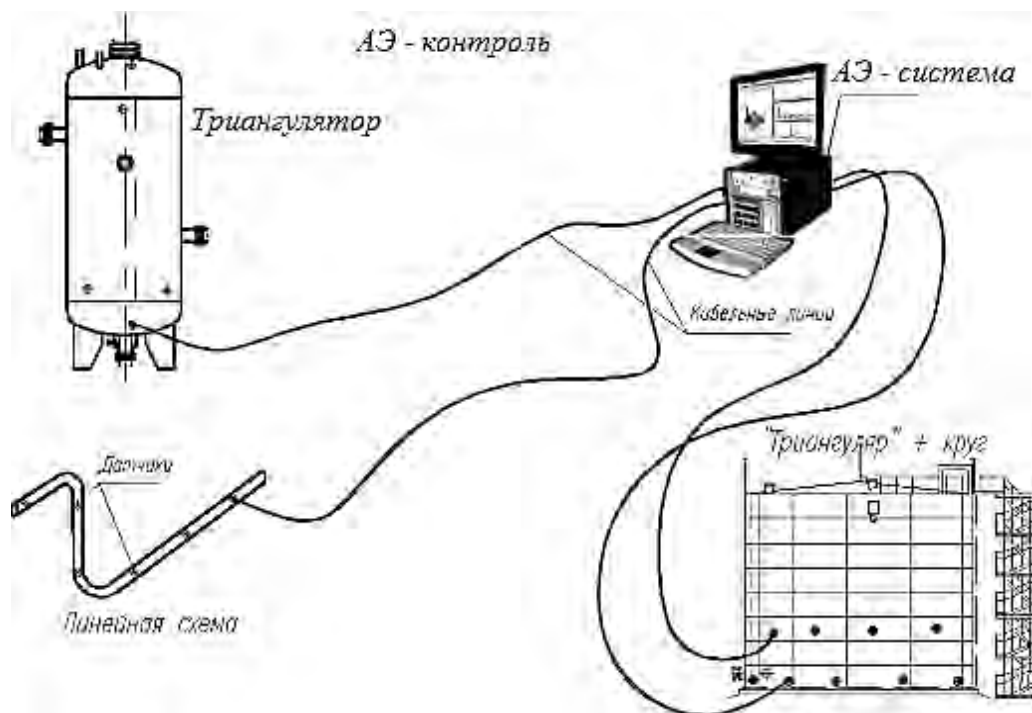


Рисунок 1 – Схемы применения АЭ-систем на объектах контроля

Аппаратура АЭ представляет собой акустико-электронные устройства, которые используются при выполнении АЭ-контроля процесса образования, наличия и процесса развития дефектов в контролируемом объекте.

Метод АЭ относится к акустическому виду контроля и является пассивным методом. Это определяет структуру аппаратуры, основные задачи которой – приём и идентификация сигналов АЭ, их усиление, обработка, выделение и определение значений параметров сигналов, регистрация и предоставление информации. В состав аппаратуры входят следующие блоки (рисунок 2):

- преобразователи АЭ;
- предварительные и основные усилители;
- средства идентификации и обработки сигналов, включая пороговые устройства, устройства выделения и измерений параметров сигналов АЭ, устройства регистрации и представления информации;
- средства измерения вспомогательных параметров;
- контроллеры;
- ЭВМ.

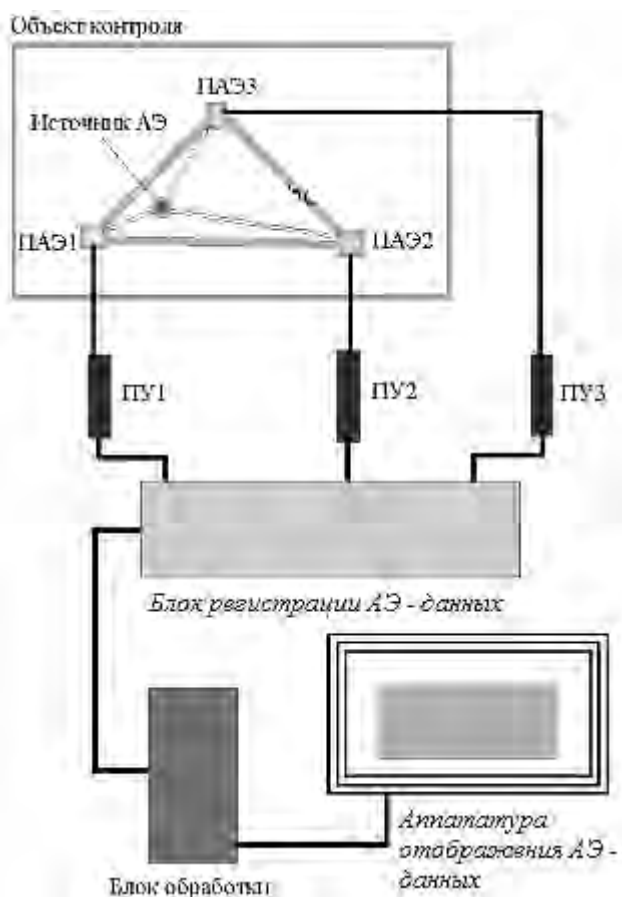


Рисунок 2 – Схема АЭ-контроля

Механические колебания преобразуются в электрические сигналы в преобразователе (ПАЭ). Затем сигнал усиливается предварительным усилителем, попадая в блок регистрации АЭ-данных, фильтруется и усиливается основным

усилителем, оцифровывается. Данные обрабатываются, записываются и сохраняются в памяти компьютера (блок обработки).

### **3.2 Технология АЭ-контроля**

Перед проведением АЭ-контроля исполнитель должен тщательно изучить объект контроля с целью получения данных для разработки технологии АЭ-контроля объекта. Технология контроля должна быть разработана на основании данных, полученных при изучении объекта контроля, приведена в отчётной документации по контролю и содержать следующую информацию:

- материал и конструкция контролируемого объекта, включая размеры и форму, тип хранимого (рабочего) продукта;
- данные о параметрах шумов и затухании АЭ-сигнала (необходимо определить перед контролем);
- тип и параметры преобразователей АЭ, их изготовитель (в соответствии с задачей контроля, типом ОК, типом испытания, температурой);
- метод крепления преобразователей АЭ (на магнитных держателях, на клею, на прижимах и т. д.);
- контактная среда (в зависимости от температуры ОК);
- схема расположения преобразователей АЭ (точнее, схема локации: линейная, плоскостная, объёмная);
- тип прибора АЭ, его параметры (ориентировочно потребность в количестве датчиков, кабелей, каналов);
- описание системы и результатов калибровки АЭ-аппаратуры (также дата поверки и № свидетельства для протокола испытаний);
- регистрируемые данные и методы регистрации (для расчёта критериальных соотношений);
- система классификации источников АЭ и критерии оценки состояния контролируемого объекта по результатам контроля;
- квалификация операторов.

### **3.3 Выбор схемы расстановки датчиков**

Для определения координат дефектов (локации источников АЭ) датчики на ОК устанавливаются в определённой конфигурации, которая образует так называемую антенную решётку. По взаимному расположению различают зональную, линейную, плоскостную, объёмную схемы локации.

Зональная локация подразумевает такую расстановку датчиков, при которой АЭ-сигнал из любой точки зоны контроля доходит хотя бы до одного датчика (обычно применяется при сопровождении испытаний, когда не требуется точное определение места расположения источника АЭ).

При линейной схеме (обычно применяемой на трубопроводах) сигнал из любой точки зоны контроля должен восприниматься минимум двумя датчиками.

Плоскостные схемы (обычно применяемые на аппаратах и ёмкостях) тре-



буют выполнения регистрации сигнала минимум тремя датчиками. При этом, по расположению ПАЭ, они подразделяются на «триангуляр» (датчики образуют антенную решётку из треугольников), «ректангуляр» (решётка из прямоугольников), «круг» (датчики выстроены в правильную окружность, что характерно для контроля днищ резервуаров), «произвольная расстановка» (датчики не составляют решётку из подобных элементов).

Объёмные схемы подразумевают выполнение регистрации минимум четырьмя датчиками, необязательно установленными на одной плоскости (поверхности). Часть расстановок приведена на рисунке 3.

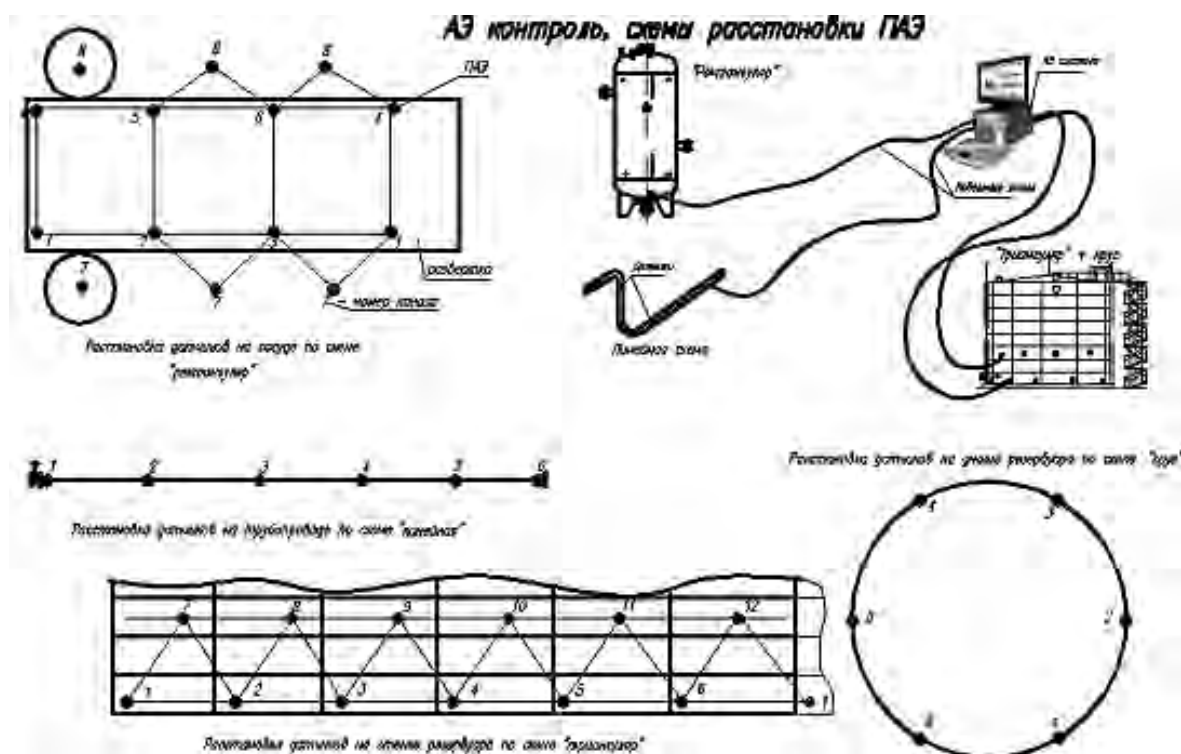


Рисунок 3 – Схемы расстановки ПАЭ

Алгоритмы расчёта координат дефектов основаны на определении разности времени прихода (РВП) фронта акустической волны к нескольким ПАЭ. Для определения координат источника сигналов АЭ на поверхности конструкции как минимум необходимо иметь три ПАЭ.

Задачи по расчёту координат дефектов основываются на определении РВП сигналов АЭ на датчики пьезоантенны с последующим решением нелинейных уравнений. В этом случае расчёт координат дефектов будет достоверен, если соблюдаются следующие условия:

- скорость распространения поверхностных акустических волн одинакова во всех направлениях (либо известна модель скорости распространения этих волн);
- акустический сигнал от дефекта в любой точке ОК дойдёт до каждого датчика, не встречая на своем пути каких-либо препятствий (сварные швы, от-

верстия, полости и т. д.);

– погрешность в определении РВП сигналов АЭ на соответствующие датчики пьезоантенны должна быть минимальна.

Схема расстановки датчиков определяется задачей контроля, требуемой точностью локации источников АЭ. Типы локации разделяются на линейную, плоскостную и объёмную.

Наиболее точную информацию об источнике акустической эмиссии даёт датчик, который является самым близким к источнику АЭ. Часто сигналы от источника эмиссии достигают многих датчиков, и графическое отображение всех индивидуальных импульсов на том же графике может быть нежелательным. При зональной группировке можно графически отобразить только информацию с датчика первой регистрации. В зональном алгоритме все датчики в группе сохраняются до момента обнаружения первой регистрации, воспринимается только эта информация. Другие датчики в группе затем блокируются или не воспринимаются. Таким образом, можно графически отобразить информацию о первой регистрации и установить, какой датчик или датчики ближе всего находятся к источнику АЭ.

Схемы расстановки следующие.

1 Линейное размещение – ПАЭ размещаются в линию. Можно обнаружить точное размещение источников эмиссии для любого числа датчиков. Источник от одного события лоцируется при попадании в два датчика.

Для объектов простой геометрии, например, для элементов конструкций, в которых длина значительно превосходит другие размеры, положение источника АЭ проецируется на линию, соединяющую датчики. При этом задача определения координат дефектов решается наиболее просто. Начало координат помещается в середине базы (половина расстояния между преобразователями), а измерение временной задержки  $\Delta t$  прихода сигнала к ПАЭ даёт возможность определить координату как

$$l = 0,5 \cdot c \cdot \Delta t,$$

где  $\Delta t$  – временная задержка;

$c$  – скорость распространения сигнала в конструкции.

2 Прямоугольное размещение – датчики устанавливаются в решётку прямоугольников, и таким образом можно более эффективно охватить поверхность объекта контроля. Решётку из прямоугольников можно свернуть вокруг поверхности, чтобы охватить цилиндр. Дополнительные датчики можно поместить на крышках и днищах, которые могут быть на цилиндрах. Источник АЭ лоцируется при попадании на четыре ПАЭ.

3 Треугольное размещение – поверхность объекта контроля покрывается треугольниками ПАЭ. Акустико-эмиссионный метод аналогичен прямоугольному размещению, но при локации необходимо, чтобы сигнал от источника АЭ попал на три датчика.





### ***3.4 Установка преобразователей на конструкции***

Чистота поверхности объекта контроля должна быть не хуже Rz 40. При наличии окраски и защитных покрытий, а также кривизны и неровностей поверхности объекта в зоне контакта возможно уменьшение амплитуды сигнала АЭ и искажение его формы. Как правило, при установке ПАЭ на ОК производят зачистку поверхности до металлического блеска с чистотой Rz 40 (мелкая наждачная бумага), размером 50 × 50 мм. Исключением может быть заводская химическая грунтовка или окраска с последующим запеканием, когда слой покрытия обладает высокой адгезией к основному металлу.

Технологическая карта АЭ-контроля разрабатывается как инструкция для специалистов первого уровня специалистами второго или третьего уровней. Пример такой карты представлен в приложении А.

#### ***Порядок выполнения работы***

- 1 Получить у преподавателя чертёж сварной конструкции.
- 2 Составить схему АЭ-контроля.
- 3 Заполнить технологическую карту АЭ-контроля.

#### ***Контрольные вопросы***

- 1 Приведите цель разработки программы АЭ-контроля и её содержание.
- 2 Приведите содержание технологии АЭ-контроля.
- 3 Перечислите схемы применения АЭ-контроля.
- 4 Перечислите требования к установке акустических преобразователей на конструкции.
- 5 Что является основным фактором, ограничивающим эффективность акустико-эмиссионного контроля?
- 6 Специалист какого уровня имеет право давать заключение по результатам АЭ-контроля?
- 7 Перечислите основные разделы технологической карты акустико-эмиссионного контроля.

#### ***Содержание отчёта***

- 1 Название темы и цели работы.
- 2 Схема АЭ-контроля.
- 3 Технологическая карта АЭ-контроля
- 4 Ответы на контрольные вопросы.
- 5 Выводы о проделанной работе.

## 4 Лабораторная работа № 4. Определение режимов компьютерной радиографии сварной конструкции

**Цель работы:** изучение методики расчёта режимов компьютерной радиографии сварной конструкции.

### 4.1 Общие сведения о компьютерной радиографии

Метод основан на использовании способности некоторых люминофоров формировать скрытое изображение в зёрнах кристаллов люминофора, образующих покрытие пластины. Электроны, образующиеся в них в результате облучения рентгеновским или гамма-излучением, захватываются на энергетические уровни и остаются на них в течение длительного времени. Из этого состояния они могут быть выведены лазерным пучком. Поскольку считывание информации, записанной на флуоресцентную запоминающую пластину, возможно лишь с использованием современной компьютерной техники, данный вид записи получил название компьютерной, или цифровой, радиографии.

Под действием рентгеновского или гамма-излучения электроны внутри «флуоресцентных» кристаллов возбуждаются и переходят в квазистабильное состояние. Специальный считыватель сканирует экспонированную пластину лазерным пучком. При этом электроны высвобождаются из ловушки, что сопровождается эмиссией видимого света, длина волны которого отличается от длины волны излучения сканирующего лазера. Этот свет собирается фотоприемником и конвертируется в цифровой сигнал, преобразуемый в цифровое изображение.

Из процесса контроля исключена химическая обработка пленки, время получения изображения составляет от 1 до 2 мин. Изображения сохраняются сразу в электронном виде и могут подвергаться цифровой обработке с целью улучшения выявляемости дефектов. Становится возможным автоматизированный поиск дефектов и измерение их параметров. Громоздкие архивы рентгеновской плёнки заменяются компактной компьютерной базой данных. Оператор может быстро и точно измерить размеры дефекта на увеличенном фрагменте изображения на экране компьютера. Сканер может быть размещён в передвижной лаборатории, что позволит проводить большие объёмы контроля при ограниченном наборе пластин. Оператор может на месте быстро проверить результат съёмки и при необходимости повторить экспозицию.

Преимущества цифровой радиографии:

- время экспозиции при использовании технологии компьютерной радиографии в 2-3 раза меньше, чем при просвечивании на рентгеновскую пленку;
- снижение затрат на лабораторию и обработку плёнок;
- ускорение процесса получения и обработки данных;
- большая долговечность запоминающих пластин (срок службы при деликатном обращении – до 3000 измерений).

Порядок использования цифровой радиографии определяет



ГОСТ ISO 17636-2–2017 *Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 2. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов.*

#### 4.2 Термины и определения

**Компьютерная радиография CR;** система с запоминающей фосфорной пластиной (computed radiography CR, storage phosphor imaging plate system): полноценная система, включающая в себя запоминающую фосфорную пластину (IP) и соответствующее устройство считывания (сканер или считыватель), которое преобразует информацию с IP в цифровое изображение.

**Запоминающая фосфорная пластина IP** (storage phosphor imaging plate): фотостимулируемый люминесцентный материал, способный хранить скрытое радиографическое изображение объекта контроля и под воздействием источника красного света с соответствующей длиной волны генерирующий люминесценцию (свечение) пропорционально поглощенному излучению.

*Примечание* – В случае компьютерной радиографии IP используется вместо плёнки. При определении способов, связанных с размером источника или фокусным расстоянием, IP называется детектором, т. е. SDD – расстояние от источника излучения до детектора.

**Просвечиваемая толщина  $w$  (penetrated thickness):** толщина материала в направлении пучка излучения, вычисляемая на основе номинальной толщины всех просвечиваемых стенок и измеренная вдоль центральной оси пучка излучения.

**Расстояние от объекта контроля до детектора  $b$  (object-to-detector distance):** наибольшее расстояние между поверхностью объекта контроля со стороны источника излучения и чувствительной поверхностью детектора вдоль центральной оси пучка излучения.

**Размер источника  $d$  (source size):** размер активной части источника излучения или размер фокусного пятна.

**Расстояние от источника излучения до детектора SDD (source-to-detector distance):** расстояние между источником излучения и детектором, измеренное в направлении центральной оси пучка излучения (фокусное расстояние).

*Примечание* –  $SDD = f + b$  (где  $f$  – расстояние от источника излучения до объекта контроля;  $b$  – расстояние от объекта контроля до детектора).

**Расстояние от источника излучения до объекта контроля  $f$  (source-to-object distance):** расстояние между источником излучения и стороной объекта контроля, обращенной к источнику (дальней стороной от детектора), измеренное вдоль центральной оси пучка излучения.

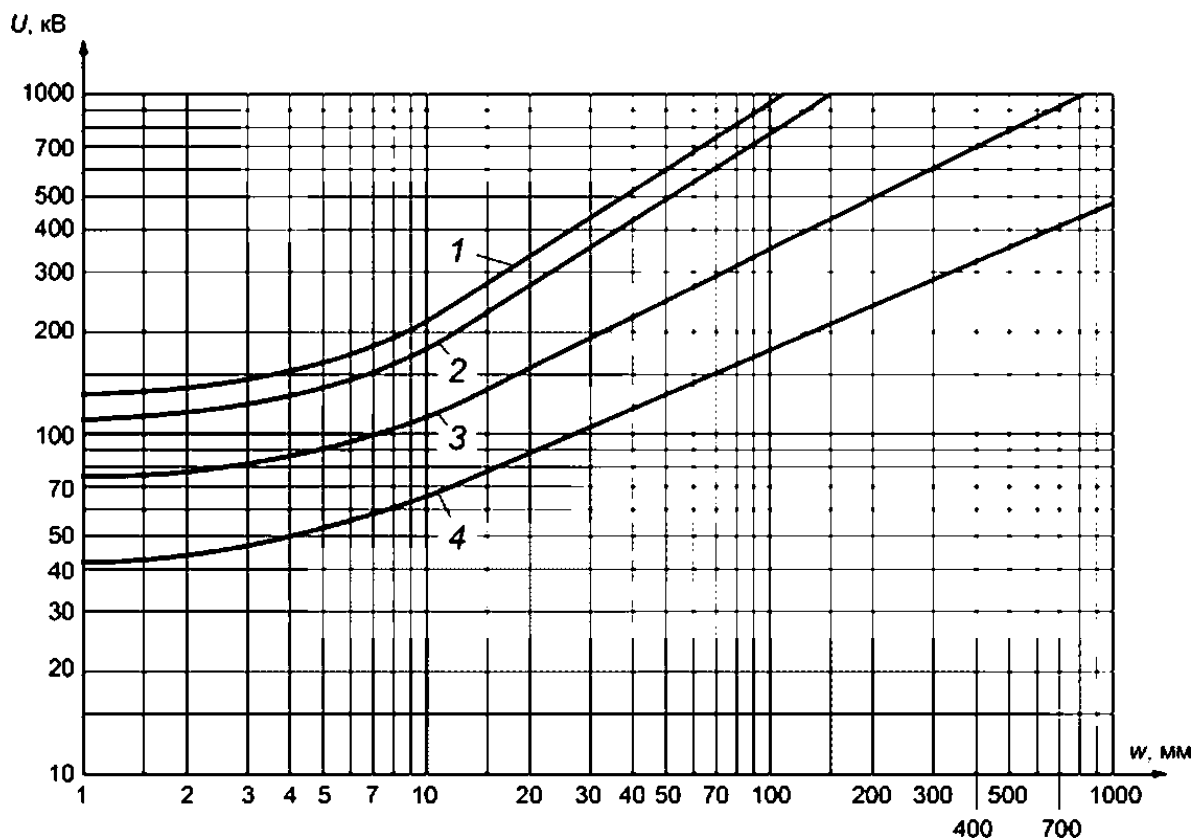
#### 4.3 Выбор напряжения на трубке и источника излучения

Особенностью цифровой радиографии является то обстоятельство, что чувствительность запоминающих пластин превышает чувствительность рентгеновской плёнки при энергии излучения до 200 кэВ и ниже – при энер-



гиях около 1 МэВ.

Для обеспечения высокой чувствительности контроля напряжение на рентгеновской трубке рекомендуется устанавливать по возможности более низким. Рекомендуемые максимальные значения напряжения на трубке в зависимости от просвечиваемой толщины приведены на рисунке 4.



$U$  — напряжение на рентгеновской трубке;  $w$  — просвечиваемая толщина; 1 — медь/никель и сплавы на их основе; 2 — сталь; 3 — титан и сплавы на его основе; 4 — алюминий и сплавы на его основе

Рисунок 4 — Максимальное напряжение на рентгеновской трубке для источников до 1000 кВ в зависимости от просвечиваемой толщины и материала

Согласно ГОСТ ISO 17636-2–2017 способы радиографического контроля делят на два класса:

- 1) класс А: основные способы;
- 2) класс В: улучшенные способы.

Способы класса качества В используют, когда изображение класса качества А может быть недостаточно чувствительным для обнаружения дефектов.

Выбор способа радиографического контроля должен быть согласован между изготовителем и заказчиком.

В таблице 6 приведены рекомендуемые диапазоны просвечиваемых толщин для источников гамма-излучения.



Таблица 6 – Диапазон просвечиваемых толщин для источников гамма-излучения для стали и сплавов на основе меди и никеля

Источник излучения	Просвечиваемая толщина $w$ , мм	
	Класс А	Класс В
Tm 170	$w \leq 5$	$w \leq 5$
Yb 169	$1 \leq w \leq 15$	$2 \leq w \leq 12$
Se 75	$10 \leq w \leq 40$	$14 \leq w \leq 40$
Ir 192	$20 \leq w \leq 100$	$20 \leq w \leq 90$
Co 60	$40 \leq w \leq 200$	$60 \leq w \leq 150$

#### 4.4 Расстояние от источника излучения до объекта контроля

Минимальное расстояние от источника излучения до объекта контроля  $f_{min}$  зависит от размера источника или размера фокусного пятна  $d$  и расстояния  $b$  от объекта контроля до детектора.

Если размер источника излучения или размер фокусного пятна определяются двумя размерами, следует использовать наибольший.

Для схем контроля, использующих гибкие детекторы, расстояние  $f$  следует выбирать таким образом, чтобы отношение этого расстояния к размеру источника излучения или к размеру фокусного пятна  $d$ , т. е.  $f/d$ , было не меньше значений, определяемых по формулам (1) и (2):

– для класса А

$$\frac{f}{d} \geq 7,5 \cdot b^{2/3}; \quad (1)$$

– для класса В

$$\frac{f}{d} \leq 15 \cdot b^{2/3}, \quad (2)$$

где  $b$  – расстояние от объекта контроля до детектора, мм.

Если расстояние  $b$  меньше, чем  $1,2t$ , то расстояние  $b$  в формулах (1) и (2) должно быть заменено номинальной толщиной  $t$ .

Для определения расстояния от источника излучения до объекта контроля  $f_{min}$  можно использовать номограмму на рисунке 5. Эта номограмма основывается на формулах (1) и (2).

Для схем контроля с гибкими детекторами расстояние  $f$  следует выбирать таким образом, чтобы отношение расстояния  $f$  к размеру источника  $d$ , т. е.  $f/d$ , было не меньше значений, определяемых по формулам (3) и (4):

– для класса А

$$\frac{f}{d} \geq 7,5 \cdot \frac{b}{\sqrt[3]{t}}; \quad (3)$$

– для класса В

$$\frac{f}{d} \leq 15 \cdot \frac{b}{\sqrt[3]{t}}. \quad (4)$$

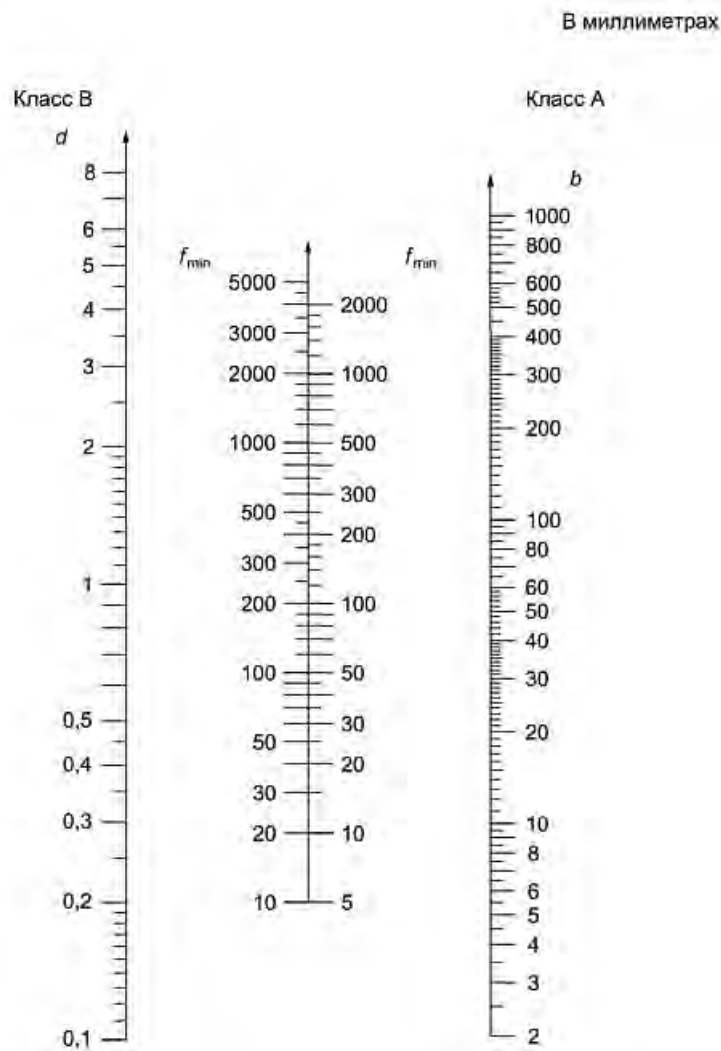


Рисунок 5 – Номограмма для определения минимального расстояния от источника излучения до объекта контроля  $f_{\min}$ , в зависимости от расстояния от объекта контроля до детектора  $b$  и размера источника излучения  $d$

#### 4.5 Определение времени просвечивания

Время просвечивания определяется по формуле (5):

$$t_{\text{эксн}} = \frac{T \cdot k \cdot f}{I},$$

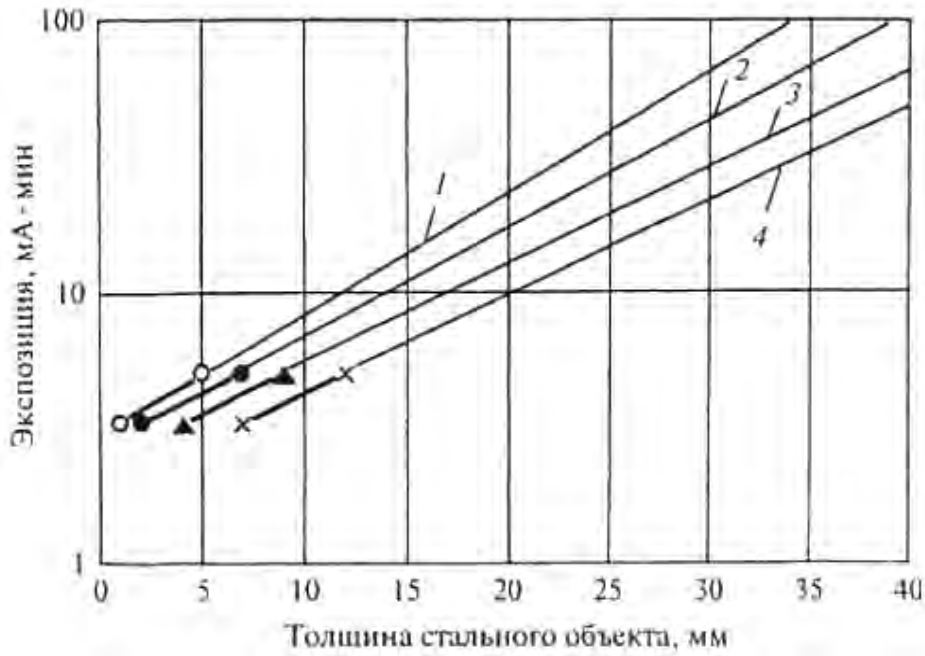
где  $T$  – экспозиция, определяемая по номограммам рисунка 6;

$I$  – величина анодного тока трубки рентгеновского аппарата (мА);

$f$  – расстояние, определяемое по формулам (1) – (4);

$k$  – коэффициент, учитывающий отличие расстояния  $f_0$ , при котором строи-

лись номограммы рисунка 6, от расстояния  $f$ , определённого по формулам (1)–(4),  $k = \frac{f_0^2}{f^2}$ .



1 – 140 кВ; 2 – 150 кВ; 3 – 160 кВ; 4 – 190 кВ

Рисунок 6 – Номограммы определения экспозиции просвечивания в зависимости от толщины стальной пластины при напряжении на трубке рентгеновского аппарата

### **Порядок выполнения работы**

- 1 Изучить теоретическую часть работы.
- 2 Получить у преподавателя чертежи сварного узла.
- 3 Выполнить расчёт режимов радиографического контроля для цифрового детектора.
- 4 Выполнить расчёт режимов радиографического контроля для обычной рентгеновской плёнки.
- 5 Сравнить результаты расчётов режимов радиографического контроля для различных детекторов ионизирующего излучения.
- 6 Сделать выводы и оформить отчёт.

### **Контрольные вопросы**

- 1 На чём основаны радиационные методы контроля?
- 2 Основные методы радиационного контроля сварных соединений.
- 3 Получение рентгеновского излучения.
- 4 Сущность и преимущества цифровой радиографии.
- 5 Термины и определения в области компьютерной радиографии.

- 6 Диапазон толщин стали, просвечиваемых при компьютерной радиографии.
- 7 Как зависит чувствительность запоминающих пластин от энергии излучения при компьютерной радиографии?
- 8 Классы способов радиографического контроля.
- 9 Меры радиационной безопасности при радиационном контроле.
- 10 Выбор режимов при компьютерной радиографии.

### **Содержание отчёта**

- 1 Название темы и цели работы.
- 2 Исходные данные для расчёта режимов радиографического контроля.
- 3 Схема просвечивания.
- 4 Расчёт режимов контроля.
- 5 Выводы о проделанной работе.

## **5 Лабораторная работа № 5. Определение химического состава основного и наплавленного металла экспресс-методом**

**Цель работы:** приобретение навыков определения химического состава основного и наплавленного металла экспресс-методом с применением лабораторного оптического спектрометра Solaris Plus.

### **Применяемое оборудование:**

- лабораторный оптический спектрометр для анализа черных и цветных металлов Solaris Plus;
- образцы для анализа химического состава.

### **5.1 Краткие теоретические сведения об оптическом экспресс-методе определения химического состава металлов**

Определение химического состава металла конструкции (как основного, так и зоны сварного шва) производится методами химического и спектрального анализа с целью установления соответствия материала обследуемого объекта проектному и, в случае необходимости, его идентификации. Определяются основные легирующие элементы (%): C, Cr, Mn, Si, Mo, Ni, Nb.

Анализ химического состава материала может производиться в две стадии:

- 1) экспресс-анализ непосредственно на объекте;
- 2) анализ в лабораторных условиях.

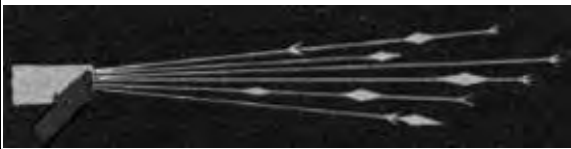
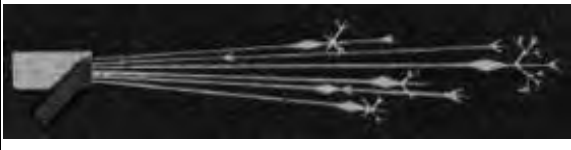


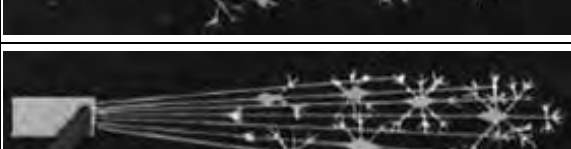



На практике, для приближенного определения химического состава или марки стали, довольно часто прибегают к *пробе металлов на искру*. При этом можно быстро определить химический состав стали (содержание в ней углерода), не производя никаких химических анализов в лаборатории. Для этого образец испытываемой стали необходимо подвергнуть обработке на наждачном круге





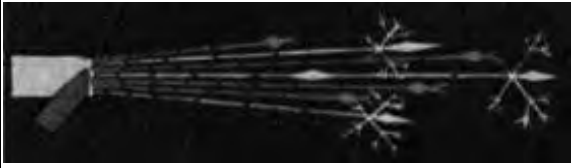
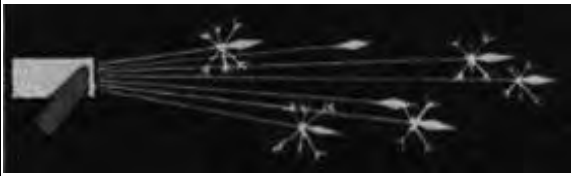
в затемнённом помещении. По цвету искр, по форме и длине нитей искр, по форме пучка судят о марке стали, сравнивая их с характером и цветом искр известных марок стали.

Таблица 7 – Определение химического состава стали по «пробе металлов на искру»

Металлы	Вид искр	Цвет и характеристика искрового пучка
Мягкая малоуглеродистая сталь (марок 10, 15)		Светло-жёлтые ровные световые линии, продолговатые каплеобразные искры
Углеродистая сталь (0,5 % C)		Светло-желтые световые полосы, разветвляющиеся с редким образованием маленьких звездочек
Углеродистая инструментальная сталь (0,9 % C)		Светло-желтые искры с многочисленными лучистыми звездочками
Твердая углеродистая инструментальная сталь (1,2 % C)		Яркие пучки искр, состоящие из светло-желтых часто разделяющихся звездочек
Марганцовистая сталь (10...14 % Mn)		Бело-желтые яркие пучки лучей, сильно разветвляющиеся перпендикулярно линиям искр
Быстрорежущая сталь (10 % W, 4 % Cr, 0,7 % C)		Темно-красные прерывистые линии искр, разделяющиеся на более светлые звёздочки
Вольфрамовая сталь (1,3 % W)		Отдельные темно-красные линии искр, разделяющиеся на более светлые жёлтые звёздочки
Кремнистая сталь		Длинные светло-жёлтые световые линии, оканчивающиеся каплями, разделяются пучками бело-желтых искр



## Окончание таблицы 7

Металл	Вид искр	Цвет и характеристика искрового пучка
Хромистая сталь		Темно-жёлтый световой пучок, разделяемый красноватыми линиями искр с шарообразными концами
Хромоникелевая конструкционная сталь (3...4 % Ni, 1 % Cr)		Жёлтые продолговатые, каплеобразные линии искр с разделяющимися пучками шипов

В настоящее время широкое распространение получил оптический экспресс-метод определения химического состава металла.

Принцип действия оптического эмиссионного спектрометра основан на том, что атомы каждого элемента могут испускать свет определённых длин волн – спектральные линии, причём эти длины волн разные для разных элементов. Для того чтобы атомы начали испускать свет, их необходимо возбудить – нагреванием, электрическим разрядом, лазером или каким-либо иным способом. Чем больше атомов данного элемента присутствует в анализируемом образце (пробе), тем ярче будет излучение соответствующей длины волны.

Экспресс-анализ химического состава металла непосредственно на конструкции (без взятия стружки) выполняется переносными аналитическими приборами после получения разрешения на проведение огневых работ. Наиболее широкое применение находят оптические спектрометры с дуговым и искровым источником возбуждения спектра. Для качественной работы необходимо:

- обеспечивать точность измерения определяемого параметра на уровне соответствующих показателей стационарных приборов;
- иметь возможность регистрации ультрафиолетового диапазона излучений для определения содержания основных легирующих элементов (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, Nb и др.), углерода, серы и фосфора;
- иметь герметичное пыле- и влагозащитное исполнение;
- обеспечивать высококачественную передачу информации по световодному кабелю при необходимости удаления источника от измерительного блока;
- иметь надёжную газозащитную систему подачи аргона.

Вышеперечисленным требованиям в значительной степени соответствует оптический спектрометр для анализа черных и цветных металлов Solaris Plus.

Он состоит из следующих основных частей:

- штатив, в который устанавливается анализируемая проба с источником возбуждения спектра – устройством, которое заставляет атомы пробы излучать свет;



– полихроматор, раскладывающий излучение пробы в спектр и позволяющий разделить излучение различных атомов, т. е. выделить спектральные линии анализируемых элементов;

– приемники излучения (например, фотоэлектронные умножители – ФЭУ) с системой регистрации, которые преобразуют свет в электрический сигнал, регистрируют его и передают в компьютер;

– компьютер, вычисляющий концентрации анализируемых элементов и управляющий всеми узлами прибора.

Интенсивность спектральной линии анализируемого элемента, помимо концентрации анализируемого элемента, зависит от большого числа различных факторов. По этой причине рассчитать теоретически связь между интенсивностью линии и концентрацией соответствующего элемента невозможно. Вот почему для проведения анализа необходимы стандартные образцы, близкие по составу к анализируемой пробе. Предварительно эти стандартные образцы экспонируются (прожигаются) на приборе.

По результатам этих прожигов для каждого анализируемого элемента строится градуировочный график, т. е. зависимость интенсивности спектральной линии элемента от его концентрации. Впоследствии, при проведении анализа проб, по этим градуировочным графикам и производится пересчет измеренных интенсивностей в концентрации.

Стандартные образцы – это образцы с известным элементным составом. Они необходимы для градуировки оптического эмиссионного спектрометра.

Стандартные образцы, как правило, выпускаются комплектами. К каждому комплекту обязательно должен быть приложен паспорт, в котором приведены концентрации всех элементов и погрешности, с которыми эти концентрации определены.

Требования, предъявляемые к используемым стандартным образцам.

- 1 Соответствие анализируемым пробам по химическому составу.
- 2 Содержание анализируемых элементов в стандартах должно охватывать весь интервал возможных массовых долей элемента в пробах.
- 3 Равномерное распределение всех элементов в комплекте стандартных образцов.
- 4 Максимальное соответствие анализируемым пробам по структуре и физико-химическим свойствам.
- 5 Стабильность состава и свойств на длительный период времени.
- 6 Минимальное количество стандартов с равномерной разбивкой концентраций для градуировки – 4...6 образцов.

## ***5.2 Подготовка проб для анализа***

Для получения надёжных и достоверных результатов анализа подготовка проб (образцов) должна быть выполнена грамотно. По меньшей мере половина ошибочных результатов анализа связана с ошибками при пробоотборе и подготовке проб.



Для отбора проб основного металла конструкции на наружной, предварительно зачищенной до металлического блеска, поверхности берётся стружка путём высверливания отверстий диаметром не более 5 мм на всю толщину стенки изделия. При отборе стружки не допускается наличие следов побежалости на металле. Пробу отбирают в трёх точках. Количество стружки, взятой в каждом месте, должно быть одинаковым. Стружку объединяют и перемешивают. Масса стружки для полного химического анализа должна составлять 20...100 г в зависимости от количества определяемых химических элементов.

Для определения химического состава металла сварного шва (ГОСТ 7122) на наружной, предварительно зачищенной до металлического блеска, поверхности отбирается стружка путем фрезерования на глубину в пределах усиления (выпуклости) шва, но не более 3 мм.

Для спектрального анализа вырезаются поперечные темплеты шириной 60 мм, длиной не менее 15 мм и толщиной, равной толщине стенки изделия.

Следует иметь в виду, что реально анализу подвергается несколько миллиграммов пробы с её поверхности. Поэтому для получения правильных результатов проба должна быть однородна по составу и структуре, причём состав пробы должен быть идентичным составу анализируемого металла.

При анализе металла в литейном или плавильном производстве для отливки проб рекомендуется использовать специальные кокили. При этом форма пробы, вообще говоря, может быть произвольной. Необходимо лишь, чтобы анализируемый образец имел достаточную поверхность и мог быть зажат в штативе.

Для отбора пробы при входном контроле материалов для отбора проб могут использоваться отрезные машинки, ножницы и т. п.

Для анализа мелких образцов, например прутков или проволоки, могут быть использованы специальные адаптеры. Весьма важную роль играет также подготовка анализируемой поверхности.

При анализе алюминиевых и медных сплавов поверхность пробы рекомендуется подготавливать на токарных или фрезерных станках; в некоторых случаях для подготовки поверхности можно использовать напильник. При этом следует избегать перегрева поверхности пробы и режущего инструмента, т. к. перегрев может менять состав и структуру материала в слое приблизительно 0,1...0,3 мм.

Для сталей, чугунов и других прочных материалов для подготовки анализируемой поверхности применяют обработку абразивной бумагой (шкуркой) или абразивным камнем средней крупности, 40 или 60 по ГОСТ 3647–80. При этом следует иметь в виду, что многие абразивные материалы при шлифовке вносят в поверхность пробы с частицами абразива кремний, алюминий и фосфор, что может повлиять на результаты анализа.



### 5.3 Оптический спектрометр для анализа черных и цветных металлов *Solaris Plus*

На рисунке 7 изображен оптический спектрометр Solaris Plus.



Рисунок 7 – Оптический спектрометр Solaris Plus

Спектрометр позволяет выполнять:

- анализ металлов и сплавов на основе Fe, Al, Mg, Cu, Ni, Pb, Ti, Zn, Sn, Co и др.;
- определение процентного содержания всех элементов, включая углерод, серу, фосфор и азот за 20 с;
- определение содержания примесей от 0,0001 % и легирующих до 45 %;
- работу в лаборатории и в условиях цеха.

Основные технические характеристики спектрометра представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики Solaris Plus

Наименование характеристики	Значение
Оптическая схема	Вакuumная, термостатированная, вертикальная, Пашена – Рунге, фокальное расстояние 500 мм
Диапазон длин волн	От 130 до 900 нм
Детектор	До 16 малошумящих неохлаждаемых CCD-детекторов по 3648 пикселей
Дифракционная решётка	2700 или 3000 шт./мм
Обратная дисперсия в первом порядке	0,74 или 0,67 нм/мм
Искровой генератор	С высокоэнергетическим предобжигом NEPS, частота разряда 100...1000 Гц, напряжение 100...500 В
Аргоновая продувка	Только во время анализа

## Окончание таблицы 8

Наименование характеристики	Значение
Особенности	Автоматическое профилирование, автодиагностика и цифровой контроль статуса прибора
Питание	220 В, 1 кВт
Габариты и вес	40 × 95 × 65 см, 70 кг

В таблице 9 приведены рабочие диапазоны измерения содержания химических элементов в сталях.

Таблица 9 – Диапазоны измерения содержания химических элементов в сталях

В процентах

Элемент	Процентное содержание	Элемент	Процентное содержание	Элемент	Процентное содержание
Al	0,0005...1,8	La	0,0005...0,03	Sb	0,001...0,5
As	0,002...0,1	Mg	0,0005...0,1	Si	0,001...6,0
B	0,0002...0,1	Mn	0,001...20,0	Sn	0,0005...0,2
C	0,001...4,5	Mo	0,001...12,0	Te	0,001...0,1
Ca	0,0001...0,01	Nb	0,002...3,0	Ti	0,001...2,5
Ce	0,0015...0,1	Ni	0,002...50,0	V	0,0005...10,0
Co	0,001...18,0	P	0,001...1,5	w	0,005...25,0
Cr	0,001...40,0	Pb	0,002...0,35	Zr	0,001...0,5
Cu	0,0005...9,0	S	0,001...0,5	N	0,003...1,0

Результаты анализа химического состава оформляются в виде протокола (таблица 10).

Таблица 10 – Протокол определения химического состава

Анализируемый участок (место отбора проб)	Метод анализа	Тип прибора	Содержание легирующих элементов, %						
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V

**Порядок выполнения работы**

- 1 Изучить теоретическую часть работы.
- 2 Получить у преподавателя образцы из углеродистой и легированной сталей.
- 3 Произвести измерения химического состава на образцах с использованием спектрометра Solaris Plus.
- 4 Результаты измерений оформить в виде таблицы (см. таблицу 8).
- 5 Определить назначение стали и произвести её маркировку.



6 Определить химический состав стали тех же образцов по «пробе металлов на искру» (см. таблицу 7).

7 Сравнить результаты, полученные при определении химического состава различными способами.

8 Сделать выводы и оформить отчёт.

### ***Контрольные вопросы***

1 Сущность метода «проба металлов на искру» определения химического состава металла.

2 Сущность опико-эмиссионного метода определения химического состава металла.

3 Назначение стандартных образцов при определении химического состава металла.

4 Требования, предъявляемые к используемым стандартным образцам.

5 Порядок подготовки проб для анализа.

### ***Содержание отчёта***

1 Цель работы.

2 Описание образцов для анализа.

3 Таблицы с результатами анализа.

4 Выводы.

### ***Требования безопасности при выполнении лабораторных работ***

1 К выполнению работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по охране труда.

2 При выполнении лабораторной работы студенты обязаны соблюдать общие правила техники безопасности при работе в лаборатории, поддерживать порядок и дисциплину.

3 Лабораторная работа должна выполняться под присмотром преподавателя.

## **Список литературы**

1 **Денисов, Л. С.** Контроль и управление качеством сварочных работ: учебное пособие / Л. С. Денисов. – Минск : Вышэйшая школа, 2016. – 624 с.

2 **Маслов, Б. Г.** Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учебное пособие для вузов / Б. Г. Маслов. – Москва: Академия, 2008. – 272 с.





## Приложение А (справочное)

### Пример технологической карты: объект – сосуд давления

#### Инструкция / Технологическая карта / акустико-эмиссионного метода контроля

Таблица А.1 – Общие требования

Изделие (наименование объекта, описание или эскиз)	Сосуд давления
Геометрические размеры	0 812 мм, высота цилиндрической части 1250 мм, толщина стенки 8 мм
Марка материала	Ст 3
Требования к поверхности	Не хуже Rz 40
Объём контроля	Цилиндрическая часть
Область применения (промышленный сектор/сектор продукции)	1, 2, 3, 4, 5, 8 по объектам контроля 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10
Цель контроля	Выявление источников АЭ в объекте контроля
Регламентирующие документы	ПБ 03-593-03. РД 03-299-99, РД 03-300-99. ПБ 03-576- 03
Классификация источников	Амплитудный критерий в соответствии с ПБ 03-593-03
Требования к персоналу	Специалисты первого уровня

Приборы и средства контроля	Поверка приборов и средств контроля
8-канальная АЭ-система DISP Сигнальные кабельные линии – 6 шт. Преобразователи АЭ типа R151 интегрированные – 6 шт. Магнитные держатели – 6 шт. Имитатор Су-Нильсена Имитатор нагрузки (источник напряжения) Рулетка измерительная 3 м Контактная среда Лито л-2 4	Проверить работоспособность каналов АЭ-системы. Разница амплитуд сигналов на ПАЭ не должна превышать $\pm 3$ дБ. Проверку проводить до и после контроля
<i>Примечание</i> – Настройка прибора и подготовка к проведению контроля: проверить работоспособность аппаратуры и ПАЭ; оценить степень зачистки поверхности в местах установки ПАЭ (не хуже Rz 40); определить акустических свойств материала объекта контроля (скорость распространения упругой волны и коэффициент затухания); составить схемы расстановки ПАЭ	

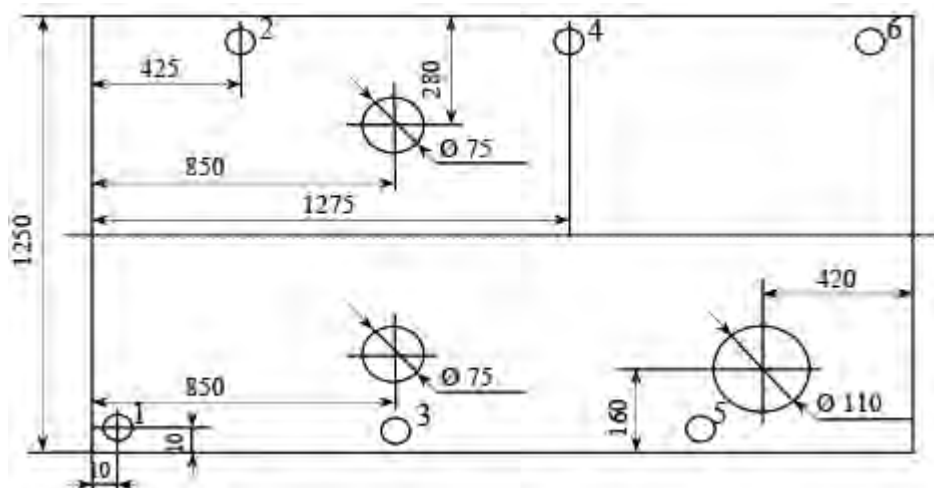


Рисунок А.1 – Схема контроля

Таблица А.2 – Условия контроля

Параметры контроля:	
тип испытаний	Пневмоиспытания
рабочая среда	Воздух
температура объекта	20 °С
температура окружающей среды	20 °С
марка нагружающего устройства	НЦ-1
испытательное давление	2,5 МПа
Параметры графика нагружения:	
скорость нагружения	0,002 МПа/мин ( $P_{исн} = 20$ МПа/мин)
время выдержки	10 мин
величины нагрузок во время выдержек	0,5 $P_{раб} = 1$ МПа, $P_{раб} = 2$ МПа, $P_{исн} = 2,5$ МПа, 0,5 $P_{раб} = 1$ МПа, $P_{исн} = 2,5$ МПа
Режимы работы аппаратуры:	
коэффициент предварительного усилителя	40 дБ
коэффициент основного усиления по каналам	0 дБ
уровень дискриминации по каналам	6 дБ выше уровня шумов
уровень собственных шумов, приведённых ко входу усилителя	5 мкВ
рабочая полоса частот	100...200 кГц

### Подробные указания по выполнению контроля

- 1 Установить ПАЭ на объект контроля в соответствии с прилагаемой схемой контроля.
- 2 Перевести аппаратуру в режим сбора данных.
- 3 Провести нагружение объекта в соответствии с прилагаемым графиком

нагрузки, фиксируя источники АЭ и их координаты.

4 Сбросить нагрузку.

5 Завершить режим сбора данных.

6 Проверить работоспособность АЭ-системы и ПАЭ.

Порядок действий при обнаружении источников АЭ.

Источник I класса (пассивный) – регистрируют для анализа динамики его последующего развития.

Источник II класса (активный):

1) регистрируют и следят за развитием ситуации в процессе выполнения данного контроля;

2) отмечают в отчёте и записывают рекомендации по проведению дополнительного контроля с использованием других методов.

Источник III класса (критически активный):

1) регистрируют и следят за развитием ситуации в процессе выполнения данного контроля;

2) предпринимают меры по подготовке возможного сброса нагрузки.

Источник IV класса (катастрофически активный):

1) производят немедленное уменьшение нагрузки до нуля либо до величины, при которой класс источника АЭ снизится до уровня II или III класса;

2) после сброса нагрузки проводят осмотр объекта и при необходимости – контроль другими методами.

Оценка степени опасности источников АЭ (документ, критерий).

ПБ 03-593-03, амплитудный критерий.

Форма записи и классификации результатов контроля (состав протокола).

Заполнить протокол в соответствии с ПБ 03-593-03.

